Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 393- 408

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۴۰۸-۳۹۳

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی شرایط تولید ژله با استفاده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و بررسی خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی و حسی آن در مقایسه با پکتین‌های تجاری

علی کاشانی[۱]- مریم حسنی[۱]- لیلا ناطقی*[۲]- محمد جواد اسدالله‌زاده[۱]- پروین کاشانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲

چکیده

پکتین مخلوط پیچیدهای از پلی‌ساکاریدها است که به فراوانی در صنعت غذا به‌عنوان ژل‌کننده، ثبات‌دهنده و امولسیفایر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوست سیب‌زمینی منبع غنی از پکتین با درجه استفریفیکاسیون پایین است که عموما به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود. برای تشکیل ژل توسط پکتین‌های با درجه استری کم، غلظت پکتین، کلرور کلسیم و میزان pH بسیار موثر است. لذا هدف از این پژوهش بهینه‌سازی خواص بافتی ژله حاوی غلظت‌های مختلف پکتین (۰/۵ و ۱ درصد)، کلرور کلسیم (۱۵، ۳۰ و ۴۵) و pH (۲/۵ و ۴) و مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله تولید شده در شرایط بهینه با ژله حاصل از پکتین تجاری مرکبات و سیب بود. مطابق با نتایج شرایط بهینه برای تولید ژله با استفاده از پکتین استخراج‌شده از پوست سیب‌زمینی با هدف دستیابی به بالاترین میزان سختی ژل (۳۰/۰۹۵۹ نیوتن) و نیروی لازم برای شکستن ژل (۲۷/۳۴۳۱ نیوتن) به‌صورت هم‌زمان با ۹۴/۳۳ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۳۵/۲۲۸۶ میلی‌گرم/ گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه تولید ژله حاوی پکتین پوست سیب‌زمینی برای ژله‌های تجاری حاوی پکتین مرکبات و سیب اعمال گردید و خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و اورگانولپتیکی ژله‌های تهیه‌شده با پکتین پوست سیب‌زمینی با ژله‌های تجاری مرکبات و سیب مشاهده نگردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد با استفاده از بهینه‌سازی شرایط تولید می‌توان از پکتین پوست سیب‌زمینی در فرمولاسیون ژله استفاه نمود و ژله‌ای با خواص کیفی مطلوب و قابل مقایسه با پکتین‌های تجاری متداول تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: ژله، پکتین، پوست سیب‌زمینی، خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی، خواص حسی

مقدمه

ژله فرآورده‌ی نیمه جامد و شفافی است که طی فرآیند خاص با استفاده از شکر یا آب میوه یا دیگر مواد قنادی مجاز، به‌عنوان مواد شیرین‌کننده و از پکتین، ژلاتین یا آگار به‌عنوان عامل تشکیل ژل تهیه می‌شود و ممکن است ماده طعم‌دهنده و رنگی نیز به آن اضافه شد. در ژله‌های معمولی برای تشکیل ژل حضور مواد ژله‌کننده مانند پکتین پر استر، مقادیر بالای شکر (۶۰- ۶۵ درصد) و pH کمتر از ۳/۵ ضروری است. در حال حاضر ژله بیشتر به‌صورت پودر ژله یافت می‌شود که باید در آب سرد و گرم مخلوط و در یخچال منعقد کرد (Gatefar *et al*., 2007).

در سال‌های اخیر یکی از مشکلات مطرح‌شده کاهش ضایعات کشور و بازیافت از ترکیبات ارزشمند به‌منظور کنترل هزینه‌های واردات، کاهش دور ریخت و جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌باشد. در تحقیق حاضر سعی شد که با به‌کارگیری ضایعات حاصل از پوست سیب‌زمینی نه‌تنها مشکل آلودگی محیط‌زیست و دور ریخت این فرآورده‌ی کشاورزی کاهش داده شود بلکه ترکیبی ارزشمند با نام پکتین که با داشتن خواص ویژه، جایگاه خود را در صنعت تولید انواع مربا و ژله در ایران یافته است، استخراج شود. یکی از این منابع ضایعاتی پوست سیب زمینی است. پوست سیب‌زمینی به‌طور طبیعی حاوی پکتین با درجه استفریفیکاسیون پایین است که توانایی خوبی در تشکیل ژل و در حضور مقادیر کم شکر به‌ویژه در pHهای خنثی دارد. از این رو سالانه تقریبا ۱۲۰۰۰۰۰۰ تن ضایعات جامد سیب زمینی در جهان تولید می‌شود (Sepelev and Galoburda, 2015).

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران
۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
۳- استادیار، طب اورژانس دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.
(*-نویسنده مسئول: Email: leylanateghi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86412

پکتین پلی‌ساکارید پیچیده‌ای است که در دیواره نخستین بافت‌های گیاهی و در لایه‌ی بین سلولی یافت می‌شود. پکتین در بردارنده گروهی از پلی‌ساکاریدهای غنی از واحدهای گالاکتورونیک اسید به همراه مقدار کمتری از قندهای مختلف می‌باشد (Baiano, 2014). دو فرم تجاری از پکتین، در دسترس هستند: پکتین با درجه متوکسیل بالا و متوکسیل پایین (پکتین پراستر و کم استر) پکتین پر استر در محلول‌های حاوی مواد جامد محلول زیاد و سیستم اسیدی تشکیل ژل می‌دهند درحالی‌که پکتین‌های کم استر در pHهای گسترده‌تر و محدوده مواد جامد بیشتر تشکیل ژل می‌دهند اما به وجود کاتیون‌های دو ظرفیتی برای تشکیل ژل نیاز دارند (Kratchanova *et al*., 2012). پکتین همچنین در پرکننده‌ها، داروها، شیرینی‌جات، محصولات نانوایی، به‌عنوان تثبیت‌کننده در آبمیوه‌ها و نوشیدنی‌های شیری و همچنین به‌عنوان فیبر رژیمی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sharma, 2006). همچنین افزایش استفاده از پکتین در نوشیدنی‌های سویا، شیر تخمیری و شیر اسیدی بوده است. با این حال هنوز بیشترین استفاده از پکتین در ژله‌ها و مرباها می‌باشد (Gullon *et al*., 2013). در حال حاضر تقریبا تمام پکتین‌های تجاری از پوست مرکبات و یا سیب که هر دو فرآورده جانبی تولید آبمیوه هستند تولید می‌شوند (Thirugnanasambandham *et al*., 2014). امروزه سایر محققین از منابع ضایعاتی شامل کلاهک بادمجان (ناطقی و همکاران، ۲۰۱۷)، پوست بادمجان (ناطقی و انصاری، ۲۰۱۷)، کدوی آجیلی (فتحی و همکاران، ۲۰۱۲)، پوست نارنج (حسینی و همکاران، ۲۰۱۶)، تفاله شاه توت (مسیبی و همکاران، ۲۰۱۷) ، میوه گیاه دارابی (آزادبخت و همکاران، ۲۰۰۳) ، کنسانتره آب پرتقال (کرامت و همکاران، ۲۰۰۲) پکتین استخراج نمودند.

نقش پکتین در مرباها و ژله‌ها برای تولید بافت ژله‌ای مهم است. در مرباها، پکتین باید سریعاً بعد از پرکردن به‌منظور اطمینـان از توزیع یکنـواخت قطعات میوه ببندد. درصورتی‌که در ژله‌ها، پکتین به دلیل خروج حباب‌های هـوا می‌تواند دیرتر بسته شود. به این منظور برای کاهش pH از ۴/۱ به ۳/۵ در پکتین با درجه استری بالا، باید اسید اضافه شود. اسید باید به شکل محلول (۵۰ درصد وزنی-حجمی) اضافه شود، در غیر این صورت پیش ژلاسیون در هرجایی که کریستال‌های اسید وجود دارند در ژله اتفاق می‌افتد و ممکن است ژله حالت دانه‌ای پیدا کند (Yin *et al*., 2009). مرباها و ژله‌های کم شکر نمی‌توانند با پکتین‌هایی با درجه استری شدن بالا[1](HM) تهیه شوند و معمولاً با پکتین‌های LM آمیدی بهتر تهیه می‌شوند. پکتین‌هایی با درجه استری شدن کم[2](LM) پکتین‌هایی هستندکه درجه استری شدن آن‌ها کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد. برای تشکیل ژل پکتین‌های با درجه استری کم، غلظت کلرور کلسیم و میزان pH بسیار موثر است (Ridley *et al*., 2001). از این رو قاطع‌فر و همکاران (۱۳۸۶) تولید ژله کم کالری با پکتین استخراج شده از طبق آفتابگردان را بررسی نمودند. آنها گزارش کردند درصد پکتین و کلرور کلسیم دارای اثر معنی‌داری بر روی خواص بافتی و ارگانولپتیکی ژله‌ها است. ایاسه و همکاران (۱۳۸۴) قابلیت تشکیل ژل از پکتین استخراج شده از طبق گل آفتابگردان را مطالعه کردند. و گزارش کردند که پکتین استخراج شده توسط هگزامتا فسفات سدیم و اگزالات سدیم از خواص کاربردی خوبی در تشکیل ژل برخوردار بود. Khan و همکاران (۲۰۱۴) استخراج و شناسایی پکتین از گریپ فروت (رقم دانکن) و استفاده از آن را به‌عنوان عامل ژل‌ساز مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند پکتین گریپ فروت توانایی خوبی در تشکیل ژل دارد. Iglesias و Lozano (۲۰۰۴) ترکیب شیمیایی و خصوصیات رئولوژیکی از جمله درجه حرارت ژله‌ای شدن پکتین استخراج‌شده از آفتابگردان را بررسی نموده و گزارش نمودند که پکتین آفتابگردان در درجه حرارت‌های بالا و در حضور یون‌های کلسیم فوراً تشکیل ژل می‌دهد و می‌تواند در محصولات رژیمی مثل مرباهای کم‌کالری استفاده شود.

پکتین نیز کاربردهای وسیعی به‌عنوان پایدارکننده، غلیظ کننده، ژل‌کننده، اصلاح‌کننده، ایجادکننده بافت و جایگزین چربی در صنایع غذایی دارد. از طرفی بررسی منابع حاکی از این است که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تولید ژله با پکتین استخراجی از ضایعات پوست سیب‌زمینی انجام نشده است. لذا هدف از این پژوهش بهینه‌سازی خواص بافتی ژله حاوی غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، کلرور کلسیم در pHهای مختلف و مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله تولید شده در شرایط بهینه با ژله حاصل از پکتین تجاری سیب و مرکبات بود.

مواد و روش‌ها

سیب‌زمینی واریته گرانولا، مورد استفاده از بازار محلی در اردبیل تهیه شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای آزمون‌ها شامل: اتانول، کلرور کلسیم، اسید سیتریک، فنل فتالئین، هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال ازشرکت مرک آلمان تهیه گردید.

روش استخراج پکتین از پوست سیب‌زمینی

پکتین مورد استفاده مطابق با روش Raji و همکاران (۲۰۱۷) از پوست سیب‌زمینی با درجه متوکسیل ۴۱/۸۲ درصد، راندمان ۱۵/۲۳ درصد و وزن مولکولی ۵۳/۴۶ کیلو دالتون با استفاده از اسیدسیتریک با بالاترین بازدهی استخراج گردید.

1 High Methoxyle Pectins
2 Low Methoxyle Pectins

ابتدا سیب‌زمینی‌ها با آب شستشو داده شده، و پوست‌گیری شدند. در مرحله بعد در آون UF55/UN (Mommert، آلمان) با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت زمان ۱۶ ساعت خشک گردید تا به وزن ثابت برسد سپس با استفاده از آسیاب مدل ML-320P، شرکت پارس خزر (ایران) به‌صورت گرانول آردی شکل در آمد سپس به کمک مش ۶۰ الک گردید. پودر تولیدی برای مصارف بعدی در ظروف پلی‌اتیلنی و در جای خشک در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

در ادامه ابتدا ۳ گرم نمونه پودر خشک شده را در ارلن ریخته و با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر اسیدی شده با اسید سیتریک در مرحله اول با pHهای مشخص (۱، ۲ و ۳) مخلوط کرده و در حمام آب گرم با دماهای (۳۵، ۶۵ و ۹۵) درجه سانتی‌گراد به مدت مشخص (۴۰، ۱۲۰ و ۲۰۰) دقیقه توسط همزن مغناطیسی (Genius، آلمان) هم‌زده و حرارت داده شد (دامنه آزمایش برای هر فاکتور بر اساس نتایج آزمایشات اولیه انتخاب گردیده است) برای طراحی تیمارهای مورد آزمون از روش سطح پاسخ (باکس بنکن) استفاده شد. پس از طی زمان لازم برای استخراج، نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج و محلول دو مرتبه با پارچه متقال صاف گردید و برای جداسازی ذرات معلق باقی- مانده، محلول حاصل در rpm ۴۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه توسط سانتریفوژ مدل PIT320 R (Universal، آلمان) سانتریفوژ شد و فاز مایع رویی پس از سانتریفوژ از کاغذ صافی شماره ۴۱ عبور داده شد و عصاره حاوی پکتین در یخچال گذاشته شد. پس از رسیدن عصاره به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، اتانول ۹۶ درصد با نسبت ۱ به ۲ (عصاره به الکل) جهت ترسیب پکتین به محلول اضافه گردید و یک شب در یخچال نگهداری شد تا کاملاً پکتین رسوب نماید و تعادل برقرار شود. سپس رسوب پکتین توسط سانتریفوژ در rpm ۴۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه از مایع جدا شد. مایع رویی را خارج کرده و رسوب باقی‌مانده جهت حذف ناخالصی‌ها با اتانول ۷۰ درصد و سپس با اتانول ۹۶ درصد شستشو داده شد. پس از هر مرحله شستشو با الکل، با سانتریفوژ کردن در rpm ۴۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه، رسوب باقی‌مانده از مایع جدا شد. در پایان نمونه‌های پکتین به‌دست‌آمده به روش انجمادی، توسط خشک کن انجمادی (FD-5005-BT، سنا پرداز دنا، ایران) خشک شدند. پکتین خشک شده پس از توزین جهت اندازه‌گیری بازده استخراج، پودر شده و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شد.

روش تولید ژله

ژله‌ها مطابق با فرمولاسیون جدول ۱ و مطابق با روش حسینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) با اندکی تغییر تهیه شدند. بدین ترتیب ابتدا مقادیر ۰/۵ و ۱ درصد پکتین استخراج‌شده با شرایط بهینه از پوست سیب‌زمینی با ۳۰ درصد وزنی شکر، ۰/۰۱۴ درصد رنگ مجاز خوراکی آلبالویی، ۰/۷۵ درصد اسانس آلبالو با هم مخلوط شدند. سپس ۱۰۰ سی‌سی آب جوش به این مخلوط اضافه گردید و به خوبی مخلوط شدند. پس از حل شدن کامل شکر مقادیر ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم کلرور کلسیم به ازاء هر گرم پکتین اضافه شد. pH نمونه‌ها بوسیله محلول اسید سیتریک روی ۲/۵ و ۴ تنظیم گردید. حرارت دادن نمونه‌ها ادامه پیدا نمود تا بریکس تیمارهای مورد آزمون روی ۴۲ تنظیم شود. نمونه‌های آماده شده به مدت نیم ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس تیمارها برای ۲ الی ۳ ساعت در یخچال قرار گرفتند تا فرآیند بستن ژله‌ها کامل گردد.

جدول ۱- فرمولاسیون ژله‌های تولیدی

تیمار	غلظت پکتین (٪)	غلظت کلرور سدیم (میلی‌گرم/گرم پکتین)	pH	شکر (٪)	آب (٪)	رنگ مجاز (٪)	اسانس آلبالو (٪)
۱	۰/۵	۱۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۷۲۸	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۲	۰/۵	۳۰	۲/۵	۳۰	۶۸/۷۲۱	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۳	۰/۵	۴۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۷۱۳	۰/۰۱۴	۰/۷۵
٤	۱	۱۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۲۲۸	۰/۰۱۴	۰/۷۵
٥	۱	۳۰	۲/۵	۳۰	۶۸/۲۲۱	۰/۰۱۴	۰/۷۵
٦	۱	۴۵	۲/۵	۳۰	۶۸/۲۱۳	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۷	۰/۵	۱۵	۴	۳۰	۶۸/۷۲۸	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۸	۰/۵	۳۰	۴	۳۰	۶۸/۷۲۱	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۹	۰/۵	۴۵	۴	۳۰	۶۸/۷۱۳	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۱۰	۱	۱۵	۴	۳۰	۶۸/۲۲۸	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۱۱	۱	۳۰	۴	۳۰	۶۸/۲۲۱	۰/۰۱۴	۰/۷۵
۱۲	۱	۴۵	۴	۳۰	۶۸/۲۱۳	۰/۰۱۴	۰/۷۵

آزمون ارزیابی خواص بافتی نمونه‌های مختلف ژله

جهت بررسی خواص بافتی نمونه‌های ژله از دستگاه Instron (مدل ۱۱۴۰، کشور آمریکا) با سرعت کراس هد[1] ۲۵ سانتی‌متر در دقیقه و لودسل[2] با ظرفیت حداکثر ۵۰ نیوتن استفاده شد. بلانچر مورداستفاده با قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر بود. ارتفاع نفوذ بلانچر به داخل ژل ۱/۱۵ سانتی‌متر تنظیم شد. جهت نگهداری و آزمایش نمونه‌های مختلف ژله توسط دستگاه اینستران ظروفی از پلی اتیلن فشرده به قطر داخلی ۵/۰۸ و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر که یک انتهای آن به‌وسیله نوار پلاستیکی مسدود شده بود استفاده شد. برای ارزیابی سفتی و شکنندگی لایه سطحی، نمونه‌های ژله در داخل قالب پلی اتیلنی مذکور منتقل گردید و پس از کالیبراسیون دستگاه ارتفاع نفوذ بلانچر به داخل ژل روی ۱/۱۵ سانتی‌متر تنظیم شد و میزان انرژی لازم برای شکستن ژله بر حسب نیوتن محاسبه گردید (Chang and Miyamoto, 1992).

ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه ژله تهیه شده از پوست سیب‌زمینی با پکتین تجاری سیب و مرکبات

اندازه‌گیری pH و اسیدیته

اندازه‌گیری pH و اسیدیته مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۸۲ انجام گردید. اندازه‌گیری pH، با استفاده از pHمتر دیجیتالی (Horiba، ژاپن) و اندازه‌گیری اسیدیته مطابق با رابطه ۱، در حضور شناساگر فنل فتالئین به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH= ۸/۲–۸/۵ انجام شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۶۸۲، ۱۳۸۸).

$$\text{اسیدیته (D)} = (0.064\times V\times N/W)\times 100 \quad (۱)$$

که در این معادله:

V: حجم محلول هیدروکسید سدیم مصرفی در تیتراسیون به میلی‌لیتر

N: نرمالیته محلول هیدروکسید سدیم مصرفی در تیتراسیون

W: وزن نمونه مورد آزمایش به گرم و یا حجم نمونه مورد آزمون به میلی‌لیتر

اندازه‌گیری بریکس

مواد جامد محلول (بریکس) با استفاده از رفراکتومتر رومیزی در دمای محیط مطابق با استاندارد ملی به شماره ۲۶۸۲ استفاده شد (استاندارد ملی شماره ۲۶۸۲، ۱۳۸۸).

اندازه‌گیری رطوبت

حدود ۵ گرم از نمونه در ظرف توزین حاوی شن شسته شده تمیز با دقت وزن و نمونه با حرکت‌های ملایم در ته ظرف پخش می‌شود. ظرف حاوی نمونه در اتو با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و یا در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خلأ به مدت ۳ ساعت قرار گرفت. پس از آن، ظرف از آن خارج شده و در دسیکاتور سرد شد و سپس توزین گردید. عمل حرارت‌دهی و سرد کردن در دسیکاتور مجدداً تکرار شده تا هنگامی‌که اختلاف دو توزین پی در پی کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم باشد. مقدار رطوبت موجود در صد گرم نمونه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Salehi, 2017).

$$\text{رطوبت (\%)} = (W1 - W2/W)\times 100 \quad (۲)$$

که در این فرمول:

W1: وزن ظرف حاوی نمونه و شن و میله قبل از خشک‌کردن به گرم

W2: وزن ظرف حاوی نمونه و شن و میله پس از خشک‌کردن به گرم

W: وزن آزمونه به گرم

اندازه‌گیری آب اندازی (سینرزیس)

سینرزیس نمونه‌های ژله به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم فیزیکی در تولید ژله، ۲ ساعت پس از بستن ژله با استفاده از سانتریفوژ دور g ۵۰۰۰ در دمای محیط اندازه‌گیری می‌شود. مقدار مایع جداشده از بافت ژله در ظروف مدرج اندازه‌گیری و درصد سینرزیس بر مبنای رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Sahan *et al.*, 2008).

$$\text{سینرزیس(\%)} = W_L/W_T \times 100 \quad (۳)$$

که در این معادله:

W_L: وزن کل مایع جداشده

W_T: وزن کل ژله

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی ژله تولیدشده با پکتین بهینه استخراجی از پوست سیب‌زمینی و پکتین تجاری مطابق با روش حسینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) تعیین گردید. جهت انجام آزمون ارزیابی حسی نمونه‌های ژله با استفاده از ۱۰ نفر ارزیاب نیمه آموزش‌دیده با روش هدونیک ۵ نقطه‌ای بر روی ویژگی‌های رنگ، طعم و قابلیت پذیرش کلی ارزیابی شد. ارزیابی حسی بر اساس روش رتبه‌بندی به‌صورت ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ به‌ترتیب برای بسیار خوب، خوب، متوسط، بد، بسیار بد انجام پذیرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طراحی تیمارهای مختلف ژله تهیه شده توسط غلظت‌های مختلف پکتین، کلرور سدیم در pHهای مختلف و تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی نتایج آنها به روش طرح فاکتوریل کامل در نرم‌افزار

1 Cross Head
2 Load Cell

مینی‌تب ۱۶ انجام گرفت. مقایسه نتایج خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی ژله بهینه تهیه شده از پوست سیب زمینی با پکتین‌های تجاری به روش آنالیز واریـانس یک‌طرفه (دانکن) در سطح احتمال ۵ درصد در نرم افزار مینی تب ۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی خواص بافتی ژله

مطابق با نتایج پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی درجه استری ۴۱/۸۲۰ درصد، را نشان داد بنابراین جزء پکتین‌هایی با درجه استری شدن کم[1] (LM) طبقه‌بندی گردید. برای تشکیل ژل پکتین‌های با درجه استری کم، غلظت کلرور کلسیم و میزان pH بسیار مؤثر است، بنابراین در این بخش غلظت پکتین، میزان کلرور کلسیم و pH مناسب بر سختی ژله و نیروی لازم برای شکنندگی ژله مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی‌که اتصال زنجیره‌های پلی‌گالاکتورونیکی در ژل پکتین کم استر به‌وسیله پیوندهای یونی و الکترواستاتیک گروه‌های کربوکسیل حاصل می‌شود بنابراین ساکارز اثر معنی‌داری روی مقاومت مکانیکی ژل ندارد (قاطع فر و همکاران، ۱۳۸۶) و به‌عنوان یک متغیر در فرمولاسیون تولید ژله در نظر گرفته نشد. Zaidel و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند خصوصیات رئولوژیکی ژل‌های پکتینی حاوی کلسیم تا حدودی به غلظت پکتین بستگی دارد.

سختی ژل

سختی عبارت است از حداکثر نیروی لازم برای تغییر شکل در اولین فشار دستگاه سنجش بافت یا نیرویی که لازم است تا نمونه بین دندان‌های آسیا فشرده شود (Szczesniak *et al*., 2002). بررسی اثر pH، غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی و کلرور کلسیم بر سختی ژل در جدول۲ گزارش شده است. نتایج نشان داد با افزایش غلظت پکتین، میزان کلرور کلسیم و pH سختی ژل به‌صورت معنی‌داری ($p≤۰/۰۵$) افزایش یافت. به‌طوری‌که بالاترین میزان سختی ژل ۳۱/۷۸ نیوتن در تیمار حاوی ۱ درصد پکتین، ۳۵ میلی‌گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۴ مشاهده گردید. پایین‌ترین میزان سختی ژل ۶/۱۵ نیوتن در تیمار حاوی ۰/۵ درصد پکتین، ۱۵ میلی‌گرم/ گرم پکتین و pH برابر با ۲/۵ مشاهده گردید. در خصوص علت افزایش سختی ژله با افزودن یون کلسیم به ژله تهیه شده از پکتین کم استر می‌توان گفت که با افزودن یون دو ظرفیتی کلسیم و افزایش غلظت آن پل‌های عرضی بین زنجیره‌های پلی‌مری پکتین تشکیل می‌شود. بنابراین شبکه سه‌بعدی ژله بهتر شکل می‌گیرد و سختی ژله افزایش می‌یابد (Nawawi and Heikal, 1996)، بنابراین هر چقدر غلظت پکتین و کلرور کلسیم بالاتر باشد اتصالات عرضی بین زنجیره‌های گالاکتورونیک اسید پکتین بیشتر می‌گردد و ژل پایدارتر می‌شود. میزان بهینه کلسیم برای ایجاد ژل توسط پکتین بستگی به pH و درجه استریفیکاسیون پکتین دارد. برای ایجاد ژل در pHهای پایین میزان کلسیم کمتری نسبت به pHهای بالا نیاز است. هر چقدر درجه استریفیکاسیون پایین‌تر باشد میزان کلسیم بیشتری برای تشکیل ژل مورد نیاز است. لازم به ذکر است توزیع گروه‌های کربوکسیل آزاد و استری شده نیز تأثیر عمیقی بر ظرفیت اتصال به کلسیم و استحکام ژل پکتینی دارد (Kaya *et al*., 2014; Kuuva *et al*., 2003).

در این راستا Kim و همکاران (۱۹۷۸) شرایط بهینه برای تشکیل ژل توسط پکتین‌های کم استر طبق آفتابگردان را استفاده از ۱ درصد پکتین آفتابگردان، ۳۰ درصد شکر، ۲۲/۵ میلی‌گرم یون کلسیم به ازاء هر گرم پکتین و pH برابر با ۴/۳ گزارش کردند.

Chang و Miyamoto (۱۹۹۲) به بررسی خصوصیات ژل حاصل از پکتین استخراج‌شده از ضایعات سر آفتابگردان پرداختند و گزارش کردند با افزایش غلظت پکتین سختی ژل حاصل افزایش یافته است که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت.

شکنندگی ژله

شکنندگی ژل نیروی لازم برای شکستن لایه سطحی ژل تعریف می‌شود. هر چقدر مقدار این نیرو بیشتر باشد مقاومت مکانیکی ژل بیشتر خواهد بود (Chang and Miyamoto, 1992).

بررسی اثر pH، غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی و کلرور کلسیم بر شکنندگی ژله در جدول ۲ گزارش شده است. میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل تیمارهای مورد آزمون با افزایش غلظت پکتین و میزان pH به صورت معنی‌داری ($p≤۰/۰۵$) افزایش یافت. با افزایش غلظت کلرور کلسیم از ۱۵ تا ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل افزایش یافت و با افزایش غلظت کلرور کلسیم از ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین به ۴۵ میلی‌گرم/گرم پکتین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل کاهش یافت. بالاترین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل ۲۸/۴۳ نیوتن در تیمار حاوی ۱ درصد پکتین، ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۴ مشاهده گردید. پایین‌ترین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل ۴/۷۸ نیوتن در تیمار حاوی ۰/۵ درصد پکتین، ۳۵ میلی‌گرم/گرم پکتین و pH برابر با ۲/۵ مشاهده گردید. افزودن کلرور کلسیم به ژل باعث افزایش اتصالات عرضی بین زنجیره‌های گالاکتورونیک اسید پکتین و تولید ژل پایدارتر می‌شود ولی در صورت وجود کلسیم اضافی مناطق اتصال بیشتر می‌شوند و تمایل به نگهداری مایعات در شبکه ژلی کاهش می‌یابد که باعث کاهش در

1 Low Methoxyle Pectins

نیروی لازم برای شکنندگی ژل می‌گردد (Zaidel *et al.*, 2017). علت افزایش سختی ژله و نیروی لازم برای شکنندگی ژله با افزایش pH می‌تواند به دلیل افزایش گروه‌های کربوکسیل غیر یونیزه در زنجیره پلی گالاکتورونیکی باشد که باعث کاهش بار منفی و نیروی دافعه می‌شود (Nawawi and Heikal, 1996). در این راستا قاطع‌فر و همکاران (۱۳۸۶) اعلام نمودند غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم کلرورکلسیم و ۱ درصد پکتین دارای بیشترین میزان نیروی شکنندگی بود.

Heikal and Nawawi (۱۹۹۶) به بررسی اثر غلظت کلسیم بر مقاومت مکانیکی ژل پکتین کم استر پرداختند و گزارش کردند با افزایش غلظت پکتین از ۰/۵ به ۱/۲ درصد مقاومت مکانیکی ژل حاصل نیز به‌صورت خطی افزایش یافت. آن‌ها گزارش کردند استفاده از مقادیر کم کلسیم میزان مقاومت مکانیکی ژل را به دلیل عدم وجود کلسیم کافی جهت تشکیل اتصالات عرضی در شبکه سه‌بعدی ژل کاهش می‌دهد.

جدول ۲- بررسی اثر pH، غلظت‌های کلرور کلسیم و پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی بر سختی و شکنندگی ژل

تیمار	غلظت کتین (٪)	غلظت کلرور کلسیم (میلی‌گرم/گرم پکتین)	شکر (٪)	pH	سختی ژل (نیوتن)	نیروی لازم برای شکنندگی ژل (نیوتن)
۱	۰/۵	۱۵	۳۰	۲/۵	۶/۱۵۰±۰/۳۱۱[e]	۵/۵۸۰±۰/۲۲۶[ef]
۲	۰/۵	۳۰	۳۰	۲/۵	۷/۱۹±۰/۵۳۷[de]	۶/۴۲۰±۰/۲۵۵[ef]
۳	۰/۵	۴۵	۳۰	۲/۵	۸/۸۵۰±۰/۶۶۵[de]	۴/۷۸۰±۰/۳۳۹[f]
٤	۱	۱۵	۳۰	۲/۵	۲۶/۷۳۰±۰/۲۶۹[c]	۲۴/۳۴۰±۰/۳۱۱[cd]
٥	۱	۳۰	۳۰	۲/۵	۲۸/۱۸۰±۰/۴۶۷[bc]	۲۷/۱۱۰±۰/۶۷۹[ab]
٦	۱	۴۵	۳۰	۲/۵	۳۰/۹۰۰±۰/۷۷۸[ab]	۲۲/۵۸۰±۰/۴۸۱[d]
۷	۰/۵	۱۵	۳۰	۴	۷/۳۴۰±۰/۲۲۶[de]	۶/۱۹۰±۰/۱۹۸[ef]
۸	۰/۵	۳۰	۳۰	۴	۸/۶۳۰±۰/۶۹۳[de]	۷/۲۴۰±۰/۰۱۸[e]
۹	۰/۵	۴۵	۳۰	۴	۹/۲۵۰±۰/۳۹۶[d]	۵/۶۱۰±۰/۳۶۸[ef]
۱۰	۱	۱۵	۳۰	۴	۲۷/۴۴۰±۰/۸۶۳[c]	۲۵/۱۹۰±۰/۴۵۳[bc]
۱۱	۱	۳۰	۳۰	۴	۲۹/۳۰۰±۱/۱۸۸[abc]	۲۸/۴۳۰±۰/۷۳۵[a]
۱۲	۱	۴۵	۳۰	۴	۳۱/۷۸۰±۱/۱۱۷[a]	۲۴/۸۱۰±۰/۵۵۲[c]

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است .

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در هر ستون می‌باشد.

مدل رگرسیونی

نتایج مدل رگرسیونی برای مقادیر پیش بینی شده سختی و شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار ضریب تبیین سختی ژل و شکنندگی ژل به‌ترتیب (R^2=۹۹/۷٪) و (R^2=۹۹/۶۹٪) به‌دست آمد که نشان‌دهنده برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی است.

جدول ۳- مدل رگرسیونی برای مقادیر پیش‌بینی شده سختی و شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

منبع	مدل	R^2	R^2-adj
سختی ژل	۱۸/۳۲۵ + ۴۷۸۳A + ۱/۶۴ B + ۱۰/۵۷۶۷ C + ۰/۲۳B^2 – ۰/۰۷۷۵ AB –۰/۰۲۶۷AC +۰/۴۸۷۵ BC	۹۹/۹۷	۹۹/۹۱
شکنندگی ژل	۱۷/۳ + ۰/۵۵۵ A – ۰/۴۴ B + ۹/۷۲ C – ۲/۴۱۵B^2 + ۰/۲AB + ۰/۱۷۸۳AC -۰/۰۹۵۰BC	۹۹/۶۹	۹۹/۱۵

A: pH، B: کلرور کلسیم، C: غلظت پکتین

آنالیز واریانس سختی و شکنندگی ژل

بر طبق جدول ۴، اثرات خطی pH (A)، $CaCl_2$ (B) و غلظت پکتین (C) و اثرات متقابل غلظت پکتین ×$CaCl_2$ بر تغییرات درجه سختی ژل معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود. ولی اثرات درجه دوم pH، کلرور کلسیم و غلظت پکتین بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبودند (p>۰/۰۵).

بر طبق جدول ۴، اثرات خطی غلظت پکتین (C) و اثرات مربعی غلظت $CaCl_2$ بر میزان نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده با

پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی معنی‌دار ($p≤۰/۰۵$) بود و اثرات خطی pH (A) و $Cacl_2$ (B) و تمامی اثرات متقابل بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبودند ($p>۰/۰۵$).

جدول ٤- نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ برای سختی و شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

منبع تغییرات	سختی ژل (%)		شکنندگی ژل(%)	
	F-value	P-value	F-value	P-value
رگرسیون	۱۷۵۴/۰۸	۰/۰۰۰*	۱۸۵/۳۰	۰/۰۰۰*
اثرات خطی	۴۰۸۶/۵۸	۰/۰۰۰*	۴۶۲/۲۷	۰/۰۰۰*
pH(A)	۲۴/۶۳	۰/۰۰۸*	۴/۱۵	۰/۱۱۱
(B) $Cacl_2$	۱۹۳/۰۲	۰/۰۰۰*	۱/۷۴	۰/۲۵۸
غلظت پکتین (C)	۱۲۰۴۲/۰۸	۰/۰۰۰*	۱۲۷۲/۹۱	۰/۰۰۰*
اثرات درجه دوم	۱/۲۷	۰/۳۲۴	۱۷/۴۶	۰/۰۱۴*
($Cacl_2B^2$)×$Cacl_2$	۱/۲۷	۰/۳۲۴	۱۷/۴۶	۰/۰۱۴*
اثر متقابل	۵/۸۵	۰/۰۶۰	۰/۲۹	۰/۸۳۲
$Cacl_2$(A×B)× pH	۰/۴۳	۰/۵۴۷	۰/۳۶	۰/۵۸۱
pH ×غلظت پکتین(A×C)	۰/۰۸	۰/۷۹۶	۰/۴۳	۰/۵۴۸
غلظت پکتین ×$Cacl_2$ (B×C)	۱۷/۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۸	۰/۷۹۰
باقی‌مانده خطا	–	–	–	–
کل	–	–	–	–

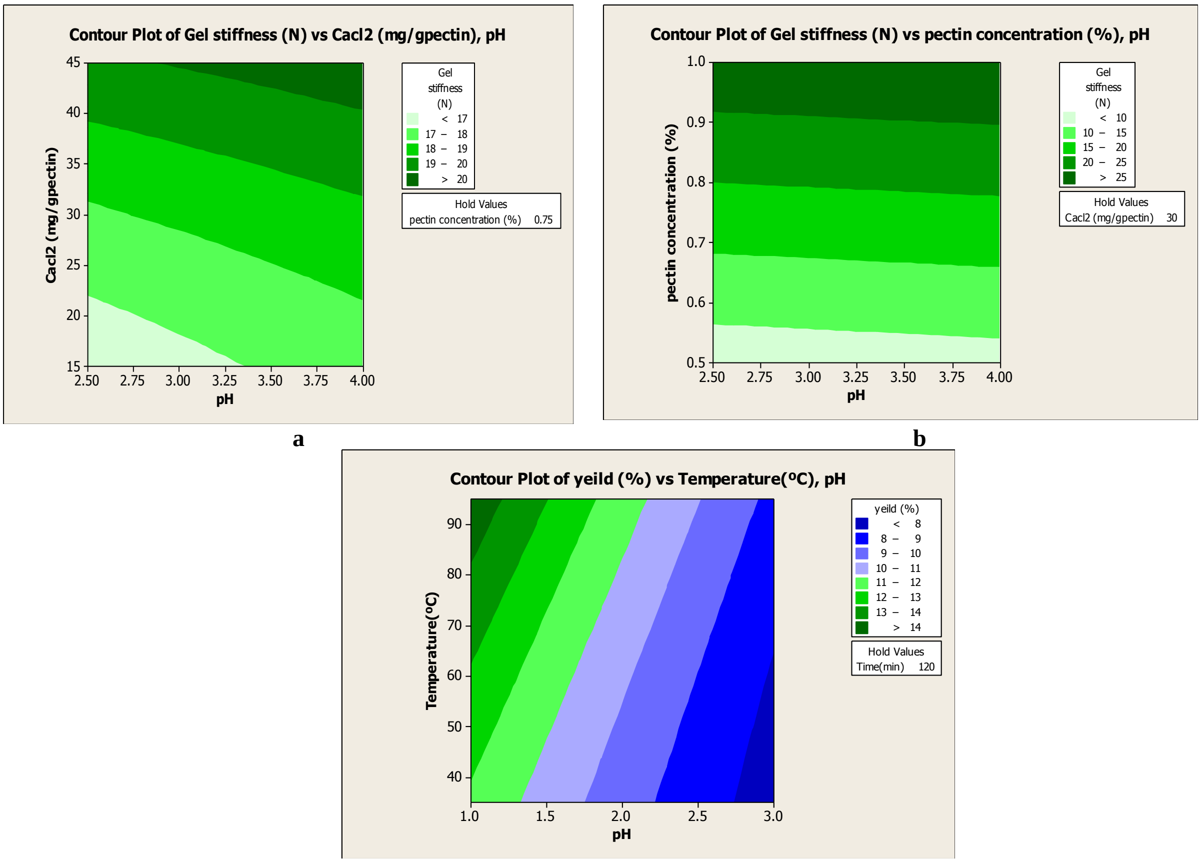
اثرات متقابل بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

شکل a نتایج اثرات متقابل (pH× $Cacl_2$) بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($Cacl_2$× pH) بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد در نظر گرفته شود با افزایش pH و غلظت کلرور کلسیم میزان سختی ژل افزایش داشته است. به‌طوری که کلرور کلسیم در غلظت‌های بالاتر از ۴۲ میلی‌گرم/گرم پکتین و pHهای ۳ و بالاتر از آن میزان سختی ژل در مقادیر بالاتر از ۲۰ نیوتن مشاهده گردید. شکل b نتایج اثرات متقابل (pH× غلظت پکتین) بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی غلظت $Cacl_2$ ثابت ۳۰ میلی‌گرم / گرم پکتین را نشان می‌دهد. اثر متقابل (pH× غلظت پکتین) بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان غلظت کلرور کلسیم ثابت و برابر ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین در نظر گرفته شود با افزایش غلظت پکتین میزان سختی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۲ درصد و در محدوده pH، ۲/۵ تا ۴ میزان سختی ژل در مقادیر بالاتر از ۲۵ نیوتن مشاهده گردید. شکل c نتایج اثرات متقابل ($Cacl_2$× غلظت پکتین) بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در pH ثابت و برابر ۳/۲۵ را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($Cacl_2$× غلظت پکتین) بر تغییرات سختی ژل معنی‌دار بود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان pH ثابت و برابر ۳/۲۵ در نظر گرفته شود با افزایش مقدار کلرور کلسیم و غلظت پکتین میزان سختی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که با استفاده از پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۴ درصد و کلرور کلسیم در محدوده ۱۵ تا ۴۵ میلی‌گرم/گرم پکتین میزان سختی ژل در مقادیر بالاتر از ۳۰ نیوتن مشاهده می‌گردد.

اثرات متقابل بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی

نتایج اثرات متقابل بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل a نتایج اثرات متقابل (pH × $Cacl_2$) بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($Cacl_2$ × pH) بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد در صورتی که میزان غلظت پکتین ثابت و برابر ۰/۷۵ درصد در نظر گرفته شود و میزان کلرور کلسیم در محدوده ۲۳ تا ۳۵

میلی‌گرم/گرم پکتین و pH ۲/۷۵ تا ۴ در نظر گرفته شود نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در مقادیر بالاتر از ۱۷ نیوتن مشاهده می‌گردد.



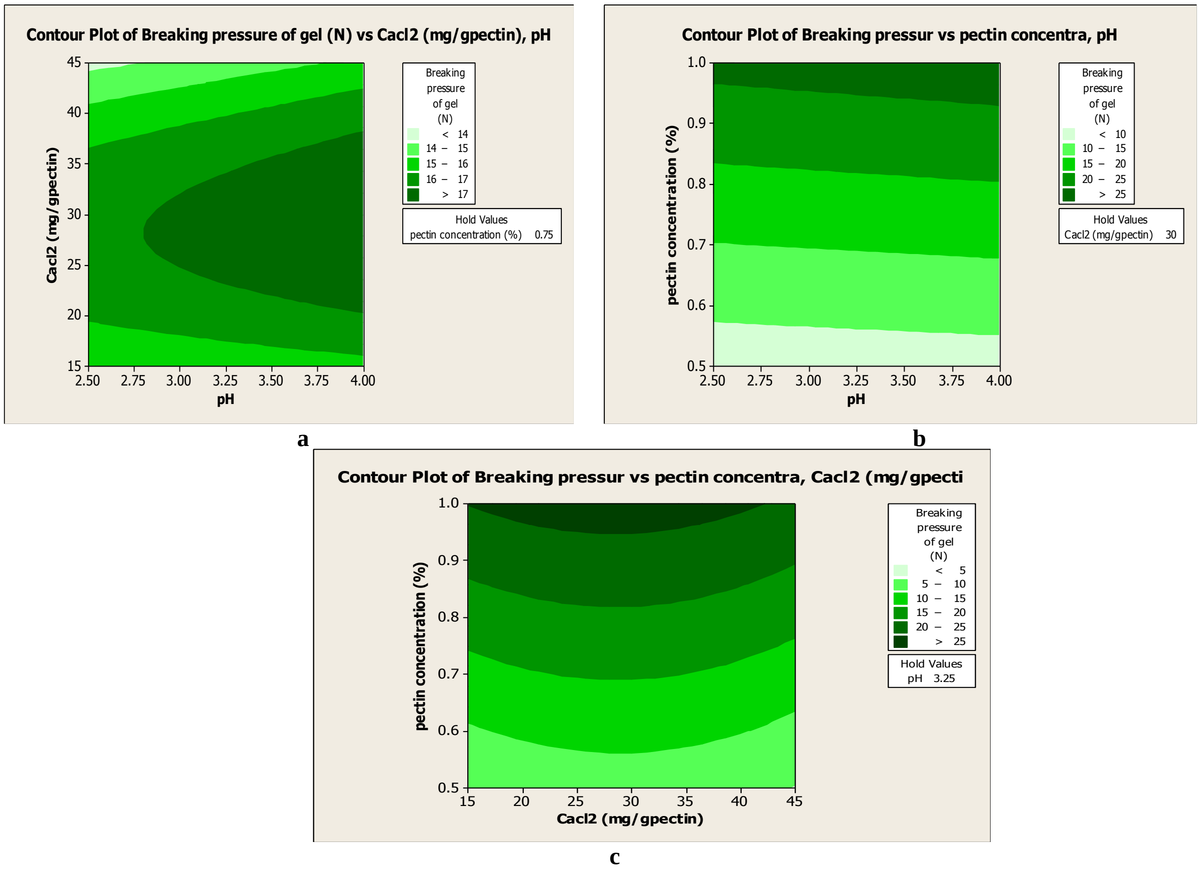
شکل ۱- اثرات متقابل، بر سختی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی a: $Cacl_2$ × pH b: pH × غلظت پکتین c: Cacl2 × غلظت پکتین

شکل b نتایج اثرات متقابل (pH× غلظت پکتین) بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در در غلظت کلرور کلسیم ثابت و برابر ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین را نشان می‌دهد. اثر متقابل (pH× غلظت پکتین) بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان غلظت کلرور کلسیم ثابت و برابر ۳۰ میلی- گرم/گرم پکتین در نظر گرفته شود با افزایش غلظت پکتین میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که اگر در فرمولاسیون ژل، از پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۸ درصد تا ۱ درصد در محدوده pH، ۲/۵ تا ۴ در نظر گرفته شود میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل مقادیر بالاتر از ۲۵ نیوتن مشاهده می‌گردد.

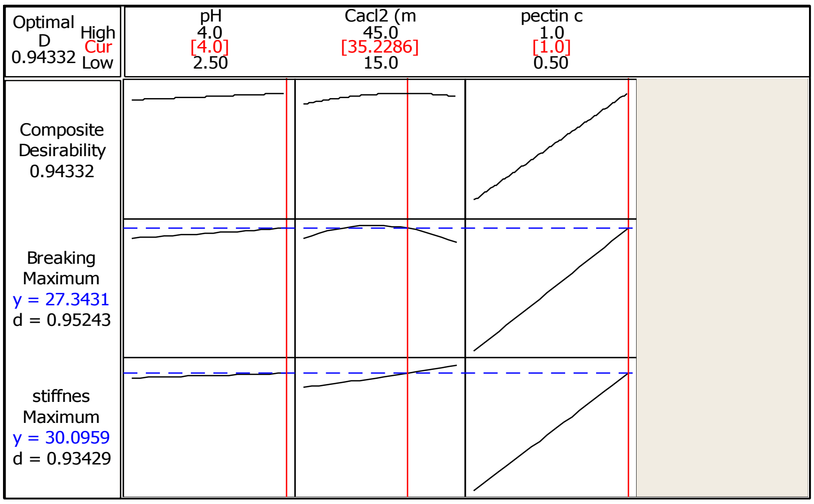
شکل c نتایج اثرات متقابل (Cacl2× غلظت پکتین) بر نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در pH ثابت و برابر ۳/۲۵ را نشان می‌دهد. اثر متقابل ($Cacl_2$× غلظت پکتین) بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل معنی‌دار نبود. همان‌طور که مشخص است در صورتی که میزان pH ثابت و برابر ۳/۲۵ در نظر گرفته شود با افزایش غلظت پکتین نیروی لازم برای شکنندگی ژل افزایش می‌یابد. به‌طوری که با استفاده از پکتین در غلظت‌های بالاتر از ۰/۹۷ درصد و کلرور کلسیم در محدوده ۱۵ تا ۴۱ میلی‌گرم/گرم پکتین در فرمولاسیون ژل نیروی لازم برای شکنندگی ژل در مقادیر بالاتر از ۲۵ نیوتن مشاهده می‌گردد.

شرایط بهینه تهیه ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی با بالاترین سختی ژل و نیروی لازم برای شکستن ژل

مطابق با شکل ۳ شرایط بهینه برای رسیدن به حداکثر میزان سختی ژل و نیروی لازم برای شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی پیش‌بینی شد.



شکل ۲- اثرات متقابل بر نیروی لازم برای شکنندگی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی a: Cacl₂ × pH b: pH × غلظت پکتین c: Cacl2 × غلظت پکتین



شکل ۳- بهینه‌سازی همزمان شرایط تهیه ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی با بالاترین میزان سختی ژل و نیروی لازم برای شکستن ژل

حداکثر میزان سختی ژل ۳۱/۶۳۳۳ نیوتن با ۹۹/۴۲ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۴۵ میلی‌گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه سختی ژل پیش بینی شده به صورت عملی در آزمایشگاه اعمال شد و سختی ژل ۳۱/۶۹ نیوتن به‌دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مقادیر پیش‌بینی شده نداشت. و حداکثر نیروی لازم برای

شکستن ژل ۲۷/۷۶۵۰ نیوتن با ۹۷/۰۸۹ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۲۸/۹۶ میلی‌گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه نیروی لازم برای شکستن ژل پیش بینی شده به صورت عملی در آزمایشگاه اعمال شد و نیروی لازم برای شکستن ژل ۲۷/۸۹ نیوتن بدست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با مقادیر پیش‌بینی شده نداشت.

مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی با پکتین‌های تجاری

ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده با ۱ درصد پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین‌های تجاری ۱ درصد در جدول ۶ نشان داده شده است. از آنجایی‌که که بالاترین میزان سختی و شکستن ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه در شرایط pHبرابر با ۴، میزان کلرورکلسیم ۳۵/۲۲۸۶ میلی‌گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید بنابراین شرایط مذکور برای تهیه ژله‌های تجاری نیز اعمال گردید و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه‌شده با پکتین تجاری سیب و مرکبات مقایسه گردید. همانطور که مشاهده می‌شود میزان pH و اسیدیته، بریکس و رطوبت ژل تهیه شده توسط پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی اختلاف معنی‌داری با ژل تهیه شده از پکتین مرکبات و سیب نداشت ($p>0.05$). با توجه به اینکه میزان pH ژله‌های تهیه‌شده توسط اسیدسیتریک ۱۰ درصد روی ۴ تنظیم شد بنابراین اختلاف معنی‌داری بین میزان pH، اسیدیته بریکس و رطوبت ژله تهیه‌شده از پکتین پوست سیب‌زمینی و پکتین تجاری مرکبات و سیب مشاهده نگردید. همچنین میزان بریکس و رطوبت ژل تهیه شده توسط پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی اختلاف معنی‌داری با ژل تهیه شده از پکتین مرکبات و سیب نداشت ($p>0.05$). از طرفی میزان آب اندازی ژل تهیه شده توسط پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی اختلاف معنی‌داری ($p\leq0.05$) با ژل تهیه شده از پکتین مرکبات و سیب داشت. پایین‌ترین میزان آب اندازی (۱/۴۸۸ درصد) در ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی مشاهده شد و بالاترین میزان آب اندازی (۲/۳۵۱ درصد) در ژل حاوی پکتین سیب مشاهده گردید. در واقع درصد آب اندازی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی به‌صورت معنی‌داری پایین‌تر از پکتین‌های تجاری مرکبات و سیب بود. علت آن می‌تواند مربوط به ایجاد شرایط بهینه تشکیل ژل برای پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی نسبت به پکتین‌های تجاری باشد. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین میزان بریکس و درصد چربی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پکتین مرکبات و سیب مشاهده نگردید. Yang و همکاران (۲۰۱۷) از پالپ سیب‌زمینی پکتین استخراج نمودند و گزارش کردند خواص امولسیفایری و پایداری امولسیونی ژل تهیه شده از پکتین استخراج شده از پالپ سیب‌زمینی از پکتین تجاری مرکبات و سیب بهتر بوده است و آن را به‌عنوان یک ترکیب مفید با خواص امولسیفایری مطلوب در محصولات غذایی پیشنهاد دادند.

جدول ۵- بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژله تهیه شده با ۱ درصد پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین‌های تجاری ۱ درصد

نوع پکتین در فرمولاسیون ژله	pH	اسیدیته (٪)	آب اندازی (٪)	بریکس	رطوبت (٪)
پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی	۴±۰/۰۰[a]	۰/۹۴۰±۰/۰۵۶[a]	۱/۴۸۸±۰/۱۲۷[b]	۴۲/۴۱۰±۱/۴۸۵[a]	۰/۳۲۰±۰/۰۲۸[a]
پکتین مرکبات	۴±۰/۰۰[a]	۰/۹۱±۰/۰۲۸[a]	۱/۷۶۲±۰/۱۱۳[ab]	۴۲/۱۶۰±۱/۱۸۸[a]	۰/۲۱±۰/۰۱۴[a]
پکتین سیب	۴±۰/۰۰[a]	۰/۹۷±۰/۰۷۰[a]	۲/۳۵۱±۰/۲۲۶[a]	۴۲/۱۹۰±۱/۳۸۶[a]	۰/۲۷۰±۰/۰۵۶[a]

نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار نشان داده شده است.

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

مقایسه خصوصیات بافتی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی با پکتین‌های تجاری

خصوصیات بافتی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با خصوصیات بافتی ژله تهیه شده از پکتین‌های تجاری سیب و مرکبات در جدول ۶ نشان داده شده است. بررسی میزان سختی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین میزان سختی (۳۰/۳۴ نیوتن) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پایین‌ترین میزان سختی متعلق به ژله تهیه شده از پکتین سیب (۲۸/۱۹ نیوتن) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین مرکبات نداشتند. بررسی نیروی لازم برای شکنندگی ژله تهیه شده از پکتین

استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین نیروی لازم برای شکنندگی ژله‌ها (۲۸/۴۲ نیوتن) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پایین‌ترین نیروی لازم برای شکنندگی ژله در نمونه تهیه شده از پکتین سیب (۲۴/۷۲ نیوتن) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین مرکبات نداشتند. در واقع اختلاف معنی‌داری بین میزان سختی و نیروی لازم برای شکنندگی ژله تهیه‌شده از پکتین استخراج‌شده از پوست سیب‌زمینی و پکتین مرکبات و سیب مشاهده نگردید. علت این نتیجه را می‌توان مربوط به بهینه سازی شرایط استخراج پکتین از پوست سیب زمینی و تولید ژله دانست که باعث فراهم نمودن شرایط لازم برای تشکیل ژل مناسب از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی گردیده است. مطالعات سایر محققین نشان داده است یکی از روش‌های تقویت خاصیت ایجاد ژل، pH بالا است. در pHهای بالا گروه‌های کربوکسیل موجود در مولکول گالاکتورونیک اسید پکتین به‌صورت کامل یونیزه می‌شوند و شرایط بهتری برای تشکیل اتصالات بین رشته‌ای و تشکیل ژل ایجاد می‌گردد (مصباحی و جمالیان، ۱۳۸۱). در pHهای بالا زنجیره‌های مولکولی پکتین گسترش بیشتری پیدا می‌کنند و به علت دافعه الکترواستاتیک بین‌مولکولی ژله سخت‌تر می‌شود. Abang Zaidel و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند خصوصیات رئولوژی ژل‌های پکتینی حاوی کلرور کلسیم تا حدودی به غلظت پکتین بستگی دارد. در مطالعه‌ی دیگری Yangو همکاران (۲۰۱۷) در نتیجه پژوهش خود گزارش کردند پکتین استخراج شده از پالپ سیب‌زمینی به روش اسیدی در گروه پکتین‌های با درجه متوکسیل پایین طبقه‌بندی گردیده است ولی درجه استیلاسیون آن بالاتر از ۸ درصد بود که به مراتب بالاتر از درجه استیلاسیون پکتین تجاری مرکبات (۱/۴ تا ۱/۶ درصد) و پکتین سیب (۵ درصد) بود و جزء پکتین‌های استیله بالا طبقه‌بندی گردید. درجه استیلاسیون می‌تواند حلالیت و ژلاتینه شدن پکتین را تحت تأثیر قرار دهد لازم به ذکر است افزایش گروه‌های استیل نقش مثبتی در خصوصیات امولسیفایری پکتین دارند (Willats (Alarcao-Silva *et al*., 2001 و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند میزان سختی ژله کم‌کالری تولیدشده با پکتین طبق آفتابگردان نسبت به نمونه شاهد بیشتر بود.

جدول ٦- بررسی خصوصیات بافتی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین‌های تجاری

نوع پکتین	سختی (N)	نیروی لازم برای شکنندگی (N)
پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی	۳۰/۳۴۰±۰/۶۷۹[a]	۲۸/۴۲۰±۰/۸۳۴[a]
پکتین مرکبات	۲۹/۱۶۰±۱/۰۴۷[a]	۲۵/۱۷۰±۱/۳۱۵[a]
پکتین سیب	۲۸/۱۹۰±۱/۱۴۶[a]	۲۴/۷۲۰±۰/۹۰۵[a]

نتایج به صورت میانگین± انحراف معیار نشان داده شده است.
حروف یکسان نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

مقایسه خصوصیات حسی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی با پکتین‌های تجاری

نتایج حاصل از ارزیابی خصوصیات حسی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با ژله‌های حاوی پکتین‌های تجاری سیب و مرکبات در جدول ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری بین امتیاز رنگ، طعم و قابلیت پذیرش کلی ژله‌های تهیه‌شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی و پکتین مرکبات و سیب مشاهده نگردید.

بررسی امتیاز رنگ ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین امتیاز رنگ (۴/۷۸) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین سیب و پایین‌ترین امتیاز رنگ متعلق به ژله تهیه شده از پکتین مرکبات (۴/۶۲) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی نداشتند. بررسی امتیاز طعم ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین امتیاز طعم (۴/۳۸) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین سیب و پایین‌ترین امتیاز طعم متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی (۴/۲۴) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از مرکبات نداشتند. بررسی امتیاز پذیرش کلی ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی، پکتین مرکبات و پکتین سیب نشان داد، بالاترین امتیاز پذیرش کلی (۴/۳۸) متعلق به ژله تهیه شده از پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی بود. مصباحی و جمالیان (۱۳۸۱) پکتین استخراج شده از تفاله چغندرقند را در سس مایونز استفاده نمودند و دریافتند که ویسکوزیته و قوام سس‌های حاصل قابل قبول بوده و نسبت به پکتین تجاری نیز قابل مقایسه بوده است. قاطع فر و همکاران (۱۳۸۶) از پکتین استخراج‌شده

از طبق آفتابگردان در فرمولاسیون ژله کم‌کالری حاوی غلظت‌های مختلف شکر، pH و کلرور کلسیم استفاده نمودند و اختلاف معنی‌داری بین خواص حسی تیمارهای مورد آزمون مشاهده نکردند. Poiana و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند خواص حسی مرباهای تهیه شده با پکتین استخراج‌شده از پوست پرتقال، پوست لیمو و پکتین تجاری قابل قبول ارزیاب‌ها بود. آن‌ها پیشنهاد کردند برای تولید مربا از پکتین استخراج‌شده از میوه‌های بومی استفاده شود تا از این محصولات ضایعاتی نیز استفاده مفید گردد. Alarcao-Silva و همکاران (۱۹۹۶) ژله کم‌کالری با استفاده از پکتین کم استر آفتابگردان و آب انگور درست نمودند و گزارش کردند خواص کیفی پکتین تجاری و پکتین کم استر طبق آفتابگردان بسیار مشابه بود. آن‌ها گزارش نمودند ژله‌های تولیدشده از پکتین کم استر آفتابگردان سختی بیشتری داشتند ولی اندکی حباب کوچک هوا در آن‌ها مشاهده می‌شد و اندکی از نظر طعم و آروما در سطح پایین‌تر قرار داشتند.

جدول ۷- بررسی خصوصیات حسی ژله تهیه شده با پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی در شرایط بهینه و مقایسه آن با پکتین‌های تجاری

نوع پکتین	رنگ	طعم (مزه و بو)	قابلیت پذیرش کلی
پکتین استخراج شده از پوست سیب‌زمینی	۴/۷۳۰.± ۰/۲۱۲[a]	۴/۲۴۰.± ۰/۷۶۳[a]	۴/۳۸۰.±۰/۵۰۹[a]
پکتین مرکبات	۴/۶۲۰.± ۰/۳۸۱[a]	۴/۳۲۰.± ۰/۶۰۸[a]	۴/۲۳۰.± ۰/۶۰۸[a]
پکتین سیب	۴/۷۸۰.± ۰/۲۵۴[a]	۴/۳۸۰.± ۰/۸۶۲[a]	۴/۳۲۰.± ۰/۵۳۷[a]

نتایج به صورت میانگین± انحراف معیار نشان داده شده است .

حروف یکسان نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در هرستون می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از پکتین استخراج‌شده از پوست‌زمینی با شرایط بهینه ژله تهیه شد. با توجه به اینکه پکتین استخراج‌شده از پوست سیب‌زمینی دارای درجه متوکسیل پایین بود بنابراین غلظت پکتین، pH و میزان کلرورکلسیم عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات بافتی ژله بودند. مطابق با نتایج با افزایش غلظت پکتین، میزان کلرور کلسیم و pH، سختی ژله به‌صورت معنی‌داری ($p≤۰/۰۵$) افزایش یافت. میزان نیروی لازم برای شکنندگی ژل تیمارهای مورد آزمون با افزایش غلظت پکتین، pH و غلظت کلرور کلسیم از ۱۵ تا ۳۰ میلی‌گرم/گرم پکتین افزایش یافت. بهینه سازی شرایط تهیه ژل حاوی پکتین استخراج شده از پوست سیب زمینی برای دستیابی به بالاترین میزان سختی ژل (۳۰/۰۹۵۹ نیوتن) و نیروی لازم برای شکستن ژل (۲۷/۳۴۳۱ نیوتن) به صورت هم زمان با ۹۴/۳۳ درصد مطلوبیت در شرایط pH برابر با ۴، میزان کلرور کلسیم ۳۵/۲۲۸۶ میلی‌گرم/گرم پکتین و غلظت پکتین ۱ درصد مشاهده گردید. شرایط بهینه تولید ژله حاوی پکتین پوست سیب‌زمینی برای ژله‌های تجاری پکتین مرکبات و سیب اعمال گردید و خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی و حسی آن‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین ژله‌های تهیه‌شده با پکتین پوست سیب‌زمینی با ژله‌های تجاری مرکبات و سیب مشاهده نگردید. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد با استفاده از بهینه‌سازی شرایط تولید می‌توان از پکتین پوست سیب‌زمینی در فرمولاسیون ژله استفاده نمود و ژله‌ای با خواص کیفی مطلوب و قابل مقایسه با پکتین‌های تجاری متداول تولید نمود. ازآنجایی‌که پکتین استخراج‌شده از پوست سیب‌زمینی درجه استریفیکاسیون پایینی دارد، بنابراین در محدوده بیشتری از pH توانایی تشکیل ژل دارد و برای تشکیل ژل نیاز به شکر ندارد و می‌توان از آن در طیف وسیع‌تری از مواد غذایی به‌خصوص محصولات کم‌کالری و رژیمی استفاده نمود.

منابع

Alarcaoe Silva, M.L., Azimheira, H.G., Januario, M.I.N., Leitao, M.C.A., & Curado, T.C. 1996. Production of hypocaloric jellies of grape juice with sunflower pectin. *Progress in Biotechnology*, 14, 931-939..

Azadbakht, M., Tabaey, M.H., & Sabet Ahd Jahromi, A. 2003. The comparison of various methods for extraction and isolation of pectin from citrus decumana Murry. *Journal of pharmaceutical Sciences*, 1, 21-28 (In Persian).

Ayase, A., Ahmadi Zenor, A., Hamdami, N., & Valizadeh, M. 2005. Extract pectin from sunflower and study its functional properties. *Agricultural Knowledge*, 4(15), 129-113 (In Persian)

Abang Zaidel, D.N., Zainudin, N.N., Mohd Jusoh, Y.M., & Muhamad, I.I. 2015. Extraction and characterization of pectin from sweet potato (Ipomoea Batatas) pulp. *Journal of Engineering Science and Technology*, 3, 22-29.

Baiano, A. 2014. Recovery of Biomolecules from Food Wastes- A Review. *Molecules*, 19(9), 14821-14842.

Chang, K.C., & Miyamoto, A. 1992. Gelling characteristics of pectin from sunflower head residues. *Journal of food science*, 57, 1435-1438.

Fathi, B., Maghsoudlou, Y., Ghorbani, M. & Khamiri, M. 2012. Effect of pH, temperature and time of acidic extraction on the yield and characterization of pectin obtained from pumpkin waste. *Journal of Food Industry Research*, 22(4), 465-475 (In Persian).

Gatefar, R., Ahmadi Zenoz, A., Ghasemzadeh, H.R., Ayase, A., & Mohammadi, S.A. 2007. Produce low-calorie jelly apple juice using pectin extracted from sunflower. *Journal of Agricultural Knowledge*, 17(1), 109-118 (In Persian).

Gullon, P. 2013. A review on the extraction of pectin from different raw Material. *Anhui agricultural science bulletin,* 3, 31-37.

Hosseini Nezhad, M., Mohtashami, M., Kamali, S., & Elahi. M. 2015. Optimizing the formula of a low calorie fruit powder jelly using sucralose and isomalt. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 3(1), 65-74 (In Persian).

Hosseini, S.S., Khodaiyan, F., & Barazande, S. 2017. Extraction and Comparison of the Physicochemical Properties of Pectin Extracted from Pineapple, Samsuri and Galia Melon Peels Assisted by Microwave. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 11(4), 71–80 (In Persian).

Iglesias, M.T., & Lozano, J.E. 2004. Extraction and characterization of sunflower pectin. *Journal of food engineering*, 62(3), 215–223.

Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2009. of measuring the amount of pH, acidity, birix methods. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 2682 (In Persian).

Kim, W.J., Sosulski, F., & Campbell, S.J. 1978. Fomrulation and characteristics of low esters gels from sunflower pectin. *Journal of food Scinece*, 43(3), 746-7 49.

Keramat, J., Kabir, G.M., & Ghenati, B. 2002. Qualitative and quantitative study of pectins extracted from the orange juice concentrate production process waste. *Agricultural science and technology and natural resources*, 6(4): 141-148 (In Persian).

Kuuva, T., Lantto, R., Reinikainen, T., Buchert, J., & Autio, K. 2003. Rheological properties of laccase-induced sugar beet pectin gels. *Food Hydrocoll*, 17 (5), 679–84.

Kratchanova, M., Pavlova, E., Panchev, I., & Kratchanov, C. 2012. Influence of microwave Pretreatment of Fresh orange Peels on Pection extraction. *Progress in Biotechnology*, 14, 941-946.

Khan, A.A., Butt, M.S., Randhawa, M.A., Karim, R., Sultan, M.T. & Ahmed, W. 2014. Extraction and characterization of pectin from grapefruit (Duncan cultivar) and its utilization as gelling agent. *International Food Research Journal,* 21(6), 2195-2199.

Kaya, M., Sousa, A.G., Crépeau, M.J., SOrensen, S.O., & Ralet, M.C. 2014. Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: influence of acid type and pH of extraction. *Annals of botany journal*, 114(6), 1319-1326.

Mesbahi, G.R., & Jamalian, J. 2002. Investigation of pectin extracted from sugar beet pulp and its application in food products. *Agricultural Sciences and Technology and Natural Resources*, 6(2), 125-137 (In Persian).

Mosayebi, V., Emam-Djomeh, Z. & Tabatabaei Yazdi, F. 2017. Optimization of extraction conditions of pectin by conventional method from black mulberry pomace. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 62(14), 341-356 (In Persian).

Nawawi, S.A., & Heikal, Y.A. 1996. Production of pectin pomace and recovery of leach liquids from orange peel. *Journal of food engineering*, 28(3-4), 341- 347.

Nateghi, L., Ansari, S., Shahab Lavasani, A. R. 2017. Investigation of yield and physicochemical properties of pectin extracted from eggplant peel. *Food Science and Technology,* 73(14), 13- 30 (In Persian).

Nateghi, L. & Ansari, S. 2017. Investigation of yield and physicochemical properties of pectin extracted from eggplant cap. *Journal of Modern Food Technologies*, 5(2), 219-239 (In Persian).

Ptichkina, N.M., Markina, O.A., & Rumyantseva, G.N. 2008. Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food Hydrocolloids*, 22(1), 192-195.

Poiana, M.A., Munteanu, M.F., Bordean, D.M., Gligor, R., & Alexa**,** E. 2013**.** Assessing the effects of different pectins addition on color quality and antioxidant properties of blackberry jam. *Chemical cent journal*, 7, 121.

Ridley, B.L., O'Neill, M.A., & Mohnen, D. 2001. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. Phytochemistry, 57, 929–967.

Raji, Z., Khodaiyan, F., Kiani, H., Hosseini, S.S., & Rezaei, K. 2017. Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel. *International journal of biological macromolecules*, 98, 709-716.

Szczesniak, A.S. 2002. Texture is a sensory property. *Food quality and preference*, 13(4), 215-225.

Sharma, M.A. 2006. Effect of variety and acid washing method on extraction yield an quality of sunflower head pectin. *Food Chemistry*, 83(1), 43-47.

Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A.A. 2008. Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β-glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids,* 22(7), 1291-1297.

Sepelev, I., & Galoburda, R. 2015. Industrial potato peel waste application in food production: A Review. Research for Rural Development, *Food Sciences*, 1, 130-136.

Salehi, F. 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum (Salvia macrosiphon). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2006-2012.

Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., & Prakash Maran, J. 2014. Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Journal of Carbohydrate Chemistry*, 112, 622-626.

Willats, W.G., McCartney, L., Mackie, W., & Knox, J. P. 2001. Pectin: Cell biology and prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology*, 47(1–2), 9–27.

Yapo, B., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. 2007. Effect of extraction conditions on the efficiency, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100, 1356-1364.

Yin, Y.G., Fan, X.D., Liu, F.X & Yu, Q.U. 2009. Fast extraction of pectin from apple pomace by high intensity pulsed electric field. *Journal of Jilin University* (Engineering and Technology Edition), 39(5), 1224-1228.

Yang, J.S., Mu, T.H., & Ma, M.M. 2017. Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food chemistry*, 244, 197-255.

Zaidel, D.N.A., & Hamidon, N.H. 2017. Effect of extraction conditions on pectin yield extracted from sweet potato peels residues using hydrochloric acid. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 979-984.

hokas, Mikko.,Välimaa, A.L.,Lötjönen, Timo., Kankaala,
A.,Taskila, Sanna and Virtanen, Elina (2014). Resource assessment
for potato biorefinery: Side stream potential in Northern Ostrobothnia.
Agronomy Research 12: 695-704

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 393- 408

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص. ۴۰۸-۳۹۳

Optimizing of production conditions of jelly using pectin extracted from potato peel and examining its texture, physicochemical and sensory properties comparison with commercial pectin's

A. Kashani[1], M. Hasani[1], L. Nateghi*[2], M. J. Asadollahzadeh[1], P. Kashani[1]

Received: 2020.04.06
Accepted: 2020.07.18

Introduction: Nowaday, the demand for low calorie food based and keeping primary features including texture and taste is increasing. Jelly is one of low calorie products produced from fruits and other components, and its consumption is increasing for human health. Jelly is semi-solid and transparent product that prepared with the use of sugar or juice and pectin or gelatin and flavor and color may also be added. Potato peels contain valuable substances such as pectin. Using potato peels to produce pectin with appropriate properties can solve the environmental issue resulting from these wastes in addition to make value added product. Pectin is a complex polysaccharide that is found in the wall of early plant texture and in the intercellular layer. Pectin contains a group of rich polysaccharides of galacturonic acid units with lower amounts of different sugars (Baiano, 2014). Two commercial forms of pectin are available: high-methoxyl and low-methoxyl pectin (high ester and low ester pectin). High-ester pectin forms a gel in a solutions containing high soluble solids and acidic systems, whereas low-ester pectins form more gel at wider pH and range of solids content but they do require divalent cations to form the gel (Kratchanova et al., 2012). In the food industry, pectin is used as a jelly-making agent, especially in the production of jellies and jams. Pectin is also used in fillers, medicine, pastries, bakery products and also as a stabilizer in juices and beverages, as well as in dietary fiber (Sharma, 2006). Pectin also has therapeutic benefits such as lowering blood cholesterol levels, removing heavy metal ions from the body, stabilizing blood pressure and facilitating intestinal activity (Ptichkina et al., 2008). Temperature, pH, and acid extraction time are the most important factors affecting the extraction yield and quality of produced pectin (Yapo et al., 2007). Currently, almost all commercial pectins are produced from citrus or apple peels, both of which are juices by-products (Thirugnanasambandham et al., 2014). Therefore, the main objective of this study was to optimize the conditions of extraction of pectin from potato peel by response surface methodology and to compare the physicochemical properties of Jelly produced from potato peel under optimum conditions with Jelly produced from apple and citrus

Material and methods: Potato of Granola variety was purchased from the local market in Ardebil. The chemicals used for the tests include: citric acid, sodium hydroxide, phenolphthalein, and Calcium chloride were purchased from Merck Company (Germany). The method of Hoseeni et al (2017) was used for jelly production with slight modification as follows. In the First step,0.5 and 1% pectin extracted from potato peelings, 30 % Sugar, 0.014 % Cherry edible color and 0.75 % Cherry essential oil were mixed then 100 CC Boiling water was added to the mixture and mixed again. After the sugar was completely dissolved, 15, 30, and 45 mg of calcium chloride was added per gram of pectin. The pH of the samples was regulated by citric acid solution on 2.5 and 4. The heating of the samples was continued until the brix of the treated treatments was set to 42. The prepared samples were kept at room temperature for half an hour. The treatments were then refrigerated for 2 to 3 hours to complete the jelly closing process. For this purpose some jelly characteristics such as texture properties, physico-chemical (pH, acidity, brix, moisture and Drainage) and sensory properties of samples were investigated using five point hedonic scale. A one-way analysis of variance and Duncan test ($P\leq 0.05$) in three replications were used to establish the significance of differences in the experimental data. The results were analyzed using the Minitab version 16.

Results & Discussion: Results showed that by increasing calcium chloride, pH and Pectin concentration had a significant effect on increasing the hardness of the gel and the strength needed to make the gel brittle ($P\leq 0.05$).The highest hardness of the gel in pectin emulsion extracted from potato peel was 30.0959 N and highest force required to break the gel was 27.3431 N in the most severe extraction conditions at Calcium chloride 35.2286 mg/g, Pectin concentration 1% and pH 4. Results of physico-chemical properties showed that there was no significant difference between pH, acidity, brix and moisture of jelly made from apple pectin and citrus and apple commercial pectin. The results of the syneresis showed that the syneresis by the jelly of potato pectin is not similar with jelly from apple pectin and citrus and apple commercial pectin significantly different. Also Results of sensory properties showed that it was no

1Department of food Science and Technology, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran
2. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran
(*Corresponding author Email: leylanateghi@yahoo.com)

significant difference between jelly from apple pectin and citrus and apple commercial pectin. The results of this study showed that by optimizing the production conditions, potato pectin can be used in jelly formulation and jelly can be produced with desirable and comparable quality compared to the commercial pectins

Keyword: Jelly, Pectin, potato peel, Texture properties, physico-chemical properties, sensory properties